PRINCIPII DE ZBOR /SALT

CUPRINS

		Nr.pag
A.	**Principiile zborului / saltului aplicabile paraşutelor**	
1.	**Noțiuni generale**……	2
2.	**Teoria fundamentală a zborului aplicată la aripa semirigidă**……..	2
2.1	Elementele unui profil sunt următoarele……	2
2.2	Studiul forțelor şi momentelor care acționează asupra aripii semirigide(elastice) pe timpul zborului……...	4
2.3	Aerodinamică paraşutei aripă……	5
2.4	Forța portantă aerodinamică……	6
2.5	Deflexia……	7
2.6	Rezistența la inaintare……	9
2.7	Zborul la unghiuri de incidență mari- angajarea…….	10
2.8	Tracțiune şi Greutate……	12
2.9	Centrul de greutate, Centrul de portanță……..	13
2.10	Unghiul de atac……..	13
2.11	Unghiul de Incidență…….	14
2.12	Curbura aripii……	14
2.13	Parametri constructive…….	14
2.14	Alungirea……..	15
2.15	Secțiunea aripii.....	16
2.16	Atitudine.....	17
2.17	Incărcarea aripii……	17
2.18	Recomandări generale privind incărcarea pe aripă	18
B.	**Teoria si tehnica zborului / saltului cu paraşuta**	
3	**Bazele fizice ale mişcării corpurilor in aer**……...	19
3.1	Principiile de bază ale mecanicii……	19
3.2	Definiții termeni generali folosiți……..	20
4	**Teoria căderii corpurilor în aer**……..	22
4.1	Rezistența la inaintare…….	22
4.2	Densitatea aerului…….	22
4.3	Viteza de deplasare…….	23
4.4	Suprafața corpului……	23
5	**Coeficientul de rezistență la înaintare**……..	23
5.1	Rezistenta la inaintare…….	24
5.2	Direcția si viteza în caderea liberă…….	25
6	**Momente aerodinamice în cădere liberă** …….	26
6.1	Momentul de ruliu……..……..	27
6.2	Momentul de tangaj…….	27
6.3	Momentul de girație…… ……..……..	27
6.4	Vria in cădere liberă……..	27
6.5	Tipuri de vrie……..	27
6.6	Căderea Liberă……..	28
6.7	Pilotarea parasutei , calculul abaterii si corectiei……	29
7	**Profile aerodinamice în cădere liberă- stiluri de cădere liberă** ……..	30
7.1	Stilul classic……..	30
7.2	Stilul grupat……	31
7.3	Stilul săgeată……...	31
7.4	Stilul picătură……...	31
	Bibliografie……..	32

A . PRINCIPIILE ZBORULUI / SALTULUI APLICABILE PARAŞUTELOR :

1. Noțiuni generale:

Aerodinamica *este stiința* (ramură a mecanicii fluidelor) *care se ocupă cu studiul mişcării aerului* (şi în general al gazelor) *precum şi cu studiul mişcării corpurilor in aer* sau în alte gaze.
Ca o consecință a apariției vehiculelor aeriene, au inceput să se dezvolte diferite ramuri ale aerodinamicii:
- *aerodinamică teoretică*, disciplină în cadrul căreia, cu ajutorul matematicii, tratează cele mai generale legi şi fenomene fizice aerodinamice;
- *aerodinamică experimentală* studiază fenomenele prin intermediul unor experiențe adaptate lor (cu precizarea că obținem acelaşi rezultat dacă deplasăm corpul față de fluid sau fluidul față de corp).
- *aerodinamică aplicată* foloseste cunostințele din celelalte două sectoare ale aerodinamicii, în construcțiile aeronautice.

2. Teoria fundamentală a zborului aplicată la aripa semirigidă.

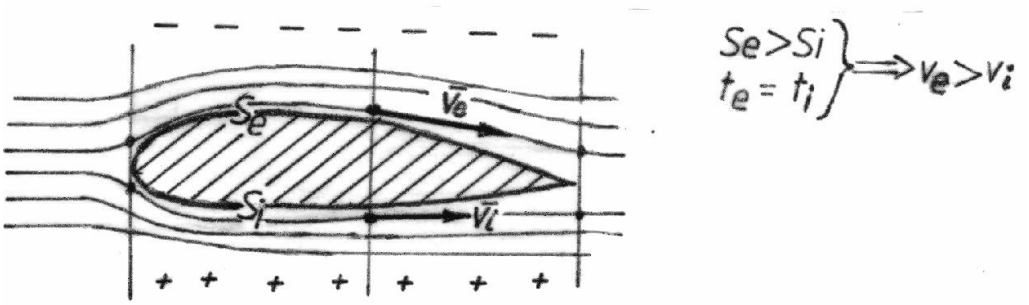
Profilul de aripă : reprezintă o secțiune transversală printr-o aripă şi este un corp optimizat din punct de vedere aerodinamic, în sensul de a dezvolta o forță portantă cat mai mare şi o forță rezistență la inaintare cat mai mică.

2.1 Elementele unui profil sunt următoarele:
- ***coarda profilului*** este linia ce uneşte cele două puncte extreme de pe profil (bordul de atac şi bordul de fuga – scurgere).
- ***grosimea profilului*** reprezintă inălțimea maximă a profilului. Grosimea se măsoară perpendicular pe coardă;
- ***grosimea relativă*** este raportul dintre grosimea maximă şi coardă;
- ***bordul de atac*** este punctul cel mai din față al profilului. Bordul de atac este punctul (linia) cu care o aripă loveşte in mişcare masele de aer;
- ***bordul de fugă*** este punctul cel mai din spate al profilului. Se mai numeşte bord de scurgere deoarece este locul prin care masele de aer părăsesc profilul. In aceast punct stratul limită de pe extrados se uneşte cu stratul limită de pe intrados.
- prin ***extrados*** se înțelege partea superioară a profilului cuprinsă intre bordul de atac şi cel de fugă;
- prin ***intrados*** se înțelege partea inferioară a profilului cuprinsă intre bordul de atac şi cel de fugă;
- ***linia mediană a profilului*** este linia care uneşte bordul de atac cu cel de fugă şi are proprietatea că orice punct al ei este egal depărtat de intrados si extrados. Această linie se mai numeşte şi scheletul profilului.
- ***săgeata sau curbura maximă*** a profilului este distanța maximă dintre linia mediană şi coardă;

Caracteristicile geometrice ale aripii :
a. anvergura aripii reprezintă lungimea aripii de la un capăt la altul.
b. profunzimea aripii reprezintă lățimea aripii într-o anumită secțiune.

Legea lui Bernoulli *:*

Considerand două particule de fluid care plecă în acelaşi timp de la bordul de atac al profilului, datorită conservării masei (ecuația continuității), ele trebuie să ajungă în acelaşi timp la bordul de fugă.



Unde :
Se = spatiul de pe extrados;
Si = spatiul de pe intrados;
Ve = viteza particulei de pe extrados;
Vi = viteza particulei de pe intrados.
te = timpul de plecare al particulei de pe extrados;
ti = timpul de plecare al particulei de pe intrados.

Forțele care afectează paraşuta sunt invizibile, dar cu toate astea se pot simți. Învațați ce forțe fac paraşuta sa zboare bine, pentru a înțelege ce se întamplă cand nu zboara bine.

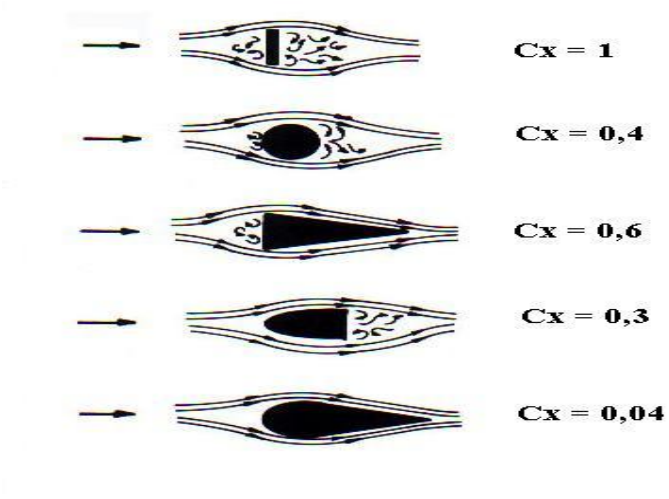
Sunt doua căi de bază pentru ca paraşuta sa încetinească coborarea – portanța şi rezistența. O paraşuta rotundă creeaza rezistența la înaintare doar prin simpla umplere cu aer a cupolei/voalurii, franand coborarea. Paraşutele aripă creează portanță, forța care apare şi împinge aripa într-o direcție anume, direcție determinată de forma constructiva şi de umplerea cu aer a voalurii. Controlul curgerii aerului pe voalură este secretul pilotarii paraşutei.

2.2 Studiul forțelor şi momentelor care acționează asupra aripii semirigide(elastice) pe timpul zborului

Forțele aerodinamice care acționează asupra profilului de aripa sunt:
- Portanța (Fz sau P);
- Rezistența la înaintare (Fx sau R);
- Forta totala aerodinamică (FTA);
- Forta gravitațională (g) şi greutatea.

Portanța se realizează datorită diferenței de circulație de pe intradosul şi extradosul profilului şi este perpendiculară pe direcția de deplasare a fileelor de aer.
Rezistența la inaintare este datorată:
- Formei
- Rezistenței induse de vartejurile de aer create în spatele profilului
- Rezistenței datorată frecării aerului cu materialul aripii.

Valoarea coeficientului de rezistență al diferitelor forme de corpuri :



Rezistența datorată formei caracterizează efectul de desprindere a fileelor de aer care îmbracă acest profil aerodinamic. Dacă la profilul standard coeficientul Cx care caracterizează acest fenomen este de 0,02 la 0,04, la profilul tăiat acesta ajunge la 0,2 – 0,3 şi se datorează decupării bordului de atac.

Rezistența indusă este proporțională cu grosimea profilului respectiv si viteza de circulație a aerului pe profil.

Rezistența datorată frecării are loc la nivel microscopic, la suprafața voalurii şi depinde de starea de rugozitate a voalurii (finețea materialului).
Deci aceste efecte combinate dau naştere la o forță numită rezistența la înaintare care este direcționată în sensul fileelor de aer.

Rezistența la înaintare a aripii depinde de:

Cx – de suprafață a aripii
ρ – Densitatea aerului
v – Viteza fileelor de aer
S – suprafața

$$R = \frac{\rho}{2} Sv^2 Cx$$

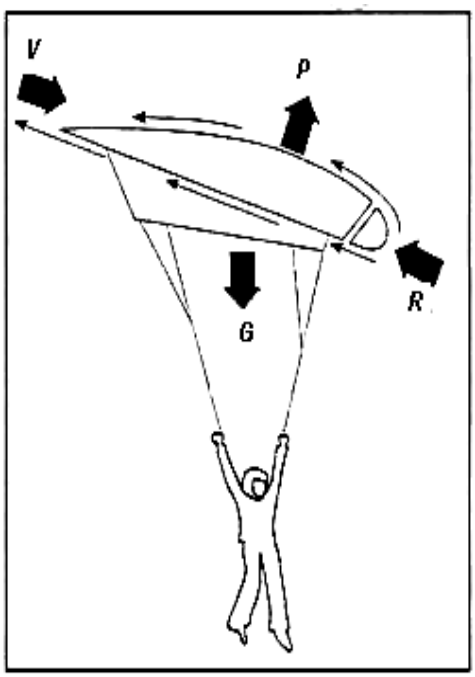
Fx (R)= forța de rezistență la înaintare
Fz = forța portantă
Fta = forța totală aerodinamică
G = greutatea paraşutistului
v = viteza de planare

Fx = Ftp = V
Fz = Fap
Fta = G

$$Fz = \frac{\rho}{2} V^2 S Cz \qquad Cz = \frac{2Fz}{\rho S V^2}$$

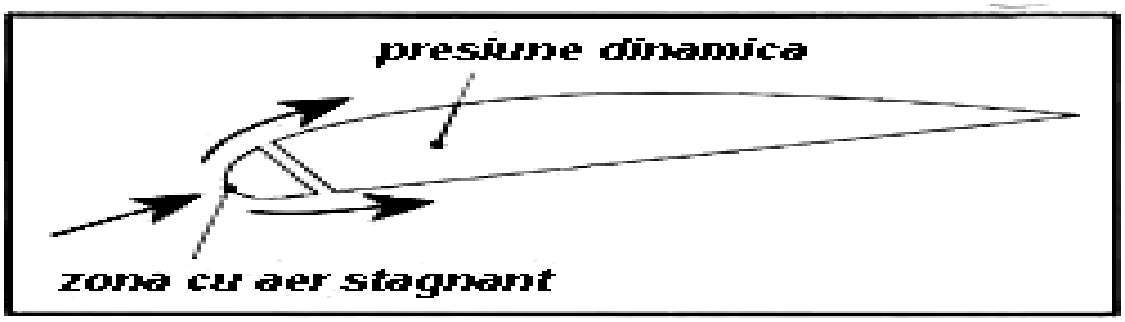
$$Fx = \frac{\rho}{2} V^2 S Cx$$

2.3 Aerodinamică paraşutei aripă:
Caracteristicile profilului aerodinamic:
Anvergura aripii: este distanța dintre extremitațile laterale ale aripii.



Unghiul de incidență: unghiul format de coarda profilului şi direcția de deplasare şi este menținut datorită dispunerii şi lungimii suspantelor.
Deci elementele unui profil de aripă sunt următoarele: coarda profilului, grosimea profilului, bordul de atac, bordul de scurgere (de fugă), extradosul, intradosul, linia mediană şi curbura mediană.
Dacă aerul se întalneşte cu aripile unei păsări în mişcare, va pătrunde parțial pe deasupra, parțial dedesubtul lor. Datorită faptului că fața superioară a aripii este arcuită, deci mai lungă decat fața inferioară, aerul va parcurge o distanță mai mare deasupra aripii. Aceasta va creşte viteza de aer deasupra aripii, astfel aerul va exercita o presiune mai mică pe suprafața superioară a aripii decat pe cea inferioară.
Deci, această diferență de presiune se numeşte forță de ascensiune (aero) dinamică.
Paraşuta aripă este o construcție realizată din chesoane (canale de retenție) de tip semirigid. Rigidizarea acestei construcții cat si menținerea ei în această formă se datorează presiunii dinamice care loveşte bordul

de atac deschis al profilului respectivei aripi (partea cea mai din față a profilului, porțiunea cu care aripa loveşte în mişcare masele de aer) în aşa fel încat în canalele de retenție se menține o presiune dinamică franată completată mereu prin bordul de atac deschis. Umplerea celulelor cu aer are loc în procesul de deschidere cand, datorită poziției bordului de atac al voalurii (din pliaj bordul de atac şi bordul de scurgere sunt orientate în jos), ia aer la viteză mare şi umple fagurii luand forma finală, după care intră în regim de zbor ca şi orice aripă portantă. Datorită lungimii suspantelor diferențiate (cele din față sunt mai scurte decat cele din spate) aripa are un unghi de incidență negativ, fapt ce-i asigură o pantă constantă de alunecare.
Din construcție extradosul ca suprafață este mai mare decat intradosul, deci aripa va forma o curbă mai pronunțată pe extrados. În spatele aripii la „bordul de scurgere" aripa se subțiază complet.
Această formă se numeste **profil.** Astfel curenții de aer orientați deasupra si dedesubtul aripii sugerează foarte bine principiul lui Bernoulli care spune că: în timp ce viteza creşte presiunea scade şi invers. Bordul de scurgere este închis şi acționat de comenzi se comportă ca un flaps. Deci „bordul de scurgere" este zona cea mai din spate a profilului, unde stratul limită de pe extrados se uneşte cu stratul limită de pe intrados.

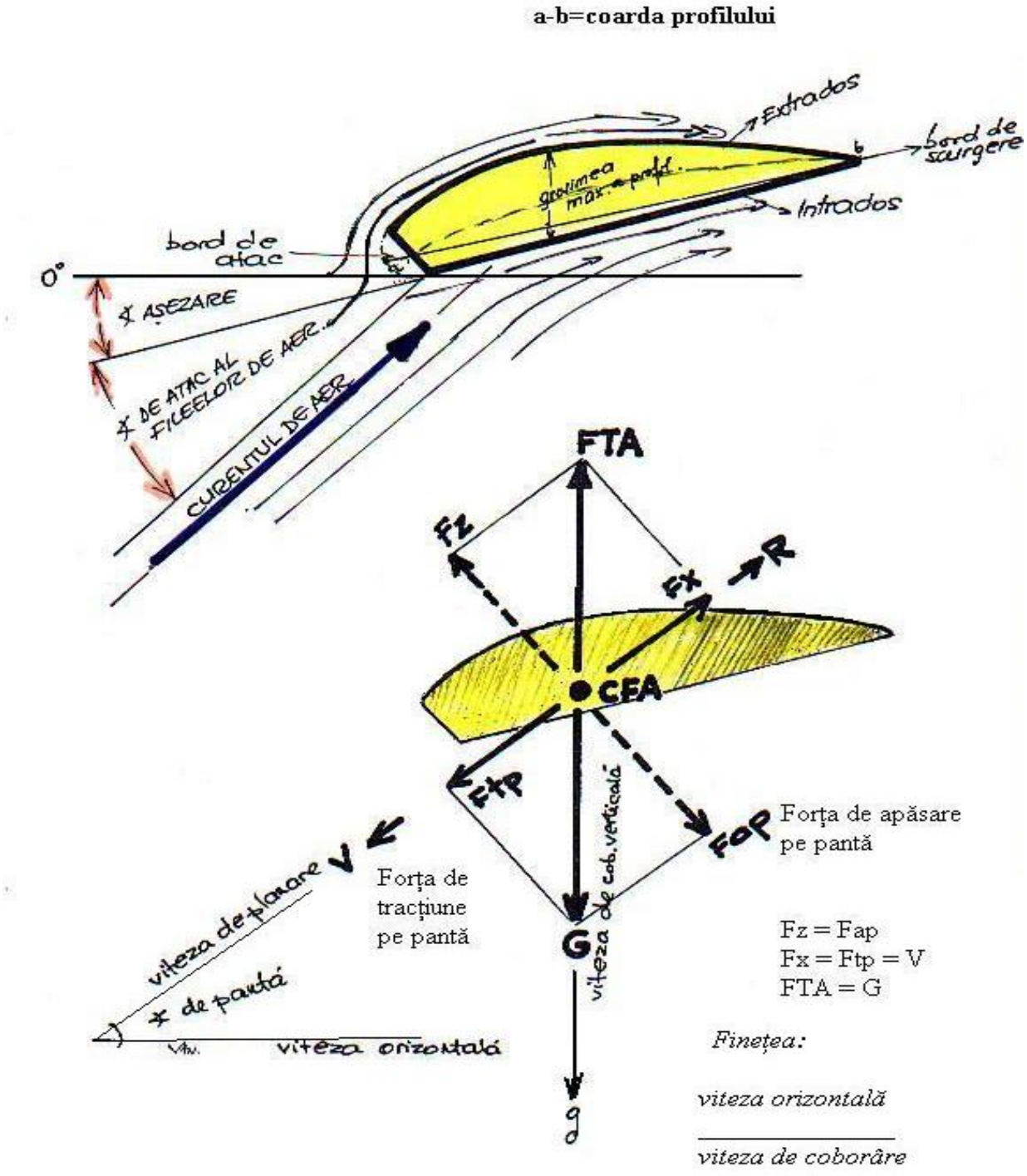


2.4 Forța portantă aerodinamică: se formează astfel încat aerul care circulă de-a lungul aripii condiționat de forma profilului şi de curbura lui, are pe partea superioară (extrados) o viteză mai mare decat pe partea inferioară (intrados). O mare viteză de scurgere a fileelor de aer înseamnă o presiune statică redusă pe suprafața înconjurătoare. Aceasta înseamnă că pe partea superioară a profilului respectiv (extrados) se produce o subpresiune, strat limită care aspiră profilul în sus.
Pe intradosul aripii, curentul de aer care ajunge sub un unghi de atac α, produce o suprapresiune care împinge profilul in sus. De asemenea şi turbulența are un rol important în ascensiunea sau crearea suprapresiunii de sub cupola aripii. Exemplu: aerul care trece deasupra aripii la părăsirea bordului de scurgere se întoarce şi se produce turbionarea aerului. Fenomenul se numeste turbulență.

O voalura produce portanță în două moduri. Însăşi forma aripii produce o uşoară portanță. Aripa este modelată în aşa fel încat aerul sa curgă mai repede pe partea de deasupra ei *(extrados)*, decat pe dedesubtul ei *(intrados).* Cand viteza aerului creşte, presiunea sa scade. Aceasta creează o zona de presiune scăzută pe extrados şi o zonă corespondentă de presiune crescută pe intrados. Astfel aripa este ridicată spre zona de presiune scazută.

2.5 Deflexia : este schimbarea directiei curentilor de aer ca urmare a interactiunii cu o aripă sau cu un sistem de aripi. Exista un echilibru complex, intre portanța data de deflexie şi forma geometrică. Dacă deflexia este principala sursa de portanță, la acționarea comenzii pentru executarea unui viraj pe partea dreapta (bordul de scurgere din dreapta tras in jos) aerul deflectat in jos ar impinge jumatatea dreaptă a voalurii in sus, aşezand voalura intr-o pozitie inclinată spre stanga şi creand viraj pe stanga. Dar de fapt, trăgand comanda dreaptă in jos, se reduce viteza, deoarece creşte rezistenta la inaintare şi scade portanta pe acea parte. Cu jumatatea din dreapta a voalurii mişcandu-se mai incet, voalura se inclină spre dreapta şi crează viraj pe acea parte.

In paraşutism, deflexia este utilizată cel mai des la franarea pentru aterizare. Cand se trage de ambele comenzi, o parte din aer este deflectat in jos creand voalurii o tendintă de urcare. Dar deasemeni creşte şi rezistența la inaintare, reducand viteza voalurii. Paraşutistul de sub voalură, avand masa mai mare şi rezistența mai mică la inaintare, incetineşte mai greu decat voalura, plecand inainte. Aceasta modifica total unghiul de atac al voalurii, crescand foarte mult deflexia aerului atata timp cat mai există viteză de inaintare.

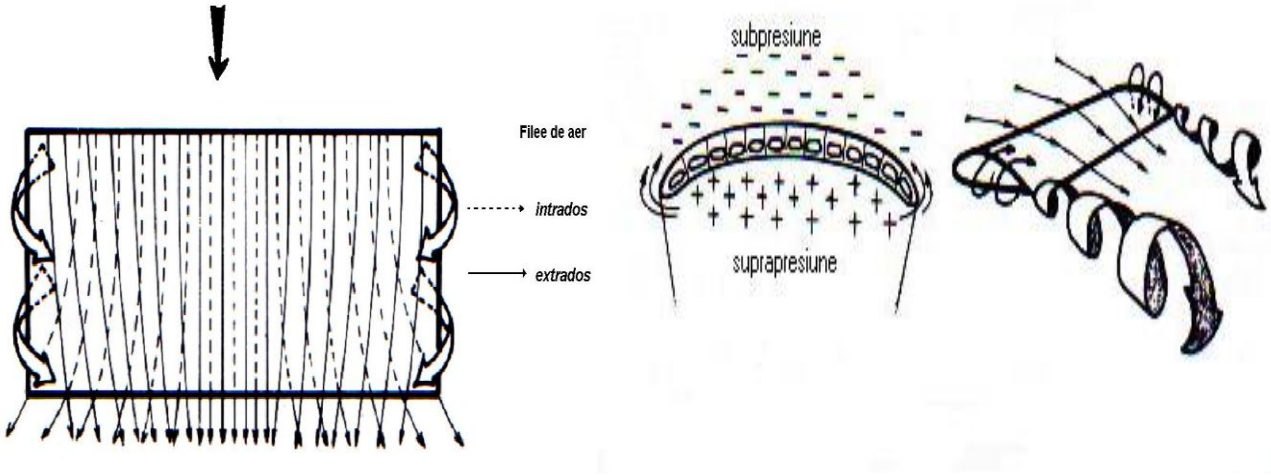

a-b=coarda profilului
Extrados
Intrados
bord de atac
bord de scurgere
grosimea max. a profil.
0°
∢ AȘEZARE
∢ DE ATAC AL FILEELOR DE AER.
CURENTUL DE AER
FTA
Fz
Fx
R
CFA
Ftp
Fap
G
viteza de cob. verticală
Forța de apăsare pe pantă
Forța de tracțiune pe pantă
viteza de planare V
∢ de pantă
viteza orizontală
Fz = Fap
Fx = Ftp = V
FTA = G
Finețea:
viteza orizontală
viteza de coborâre

2.6 Rezistența la inaintare (Fx sau R):

O alta forța principală care acționează asupra voalurii este *rezistența la inaintare*.

Rezistența se manifestă deasemeni in două moduri, pe care le vom numi *rezistența datorata formei* şi *rezistența parazita*.

Rezistența datorata formei este rezultatul frecarii aerului cu aripa. Datorita faptului ca presiunea pe intradosul aripii este mare, iar pe extrados este mică, aceste presiuni incearcă sa se echilibreze dand naştere la scurgeri de aer pe capetele aripii, creand turbioane. Aceste turbioane creează o rezistență la inaintare numită *rezistență indusă.* Această creşte odată cu grosimea profilului şi viteza acestuia şi poate fi scazută prin alungirea profilului (raportul dintre coarda medie şi anvergură).



Rezistența parazită este rezultatul perturbării curentului de aer produs de neregularitațile aripii. Celulele deschise creează turbulență. Deasemeni, suspantele, punctele de prindere a suspantelor pe voalură, paraşuta extractoare slider-ul, chiar şi paraşutistul creează rezistență la inaintare, dar nu şi portanță. Paraşutele nu au fost niciodată aripi eficiente in comparatie cu avioanele, deoarece structura lor crează foarte multă rezistență parazita iar alungirea aripii este foarte mică (pană la 1/3 la paraşute fața de avioane care au un raport mai mare de 1/10) .

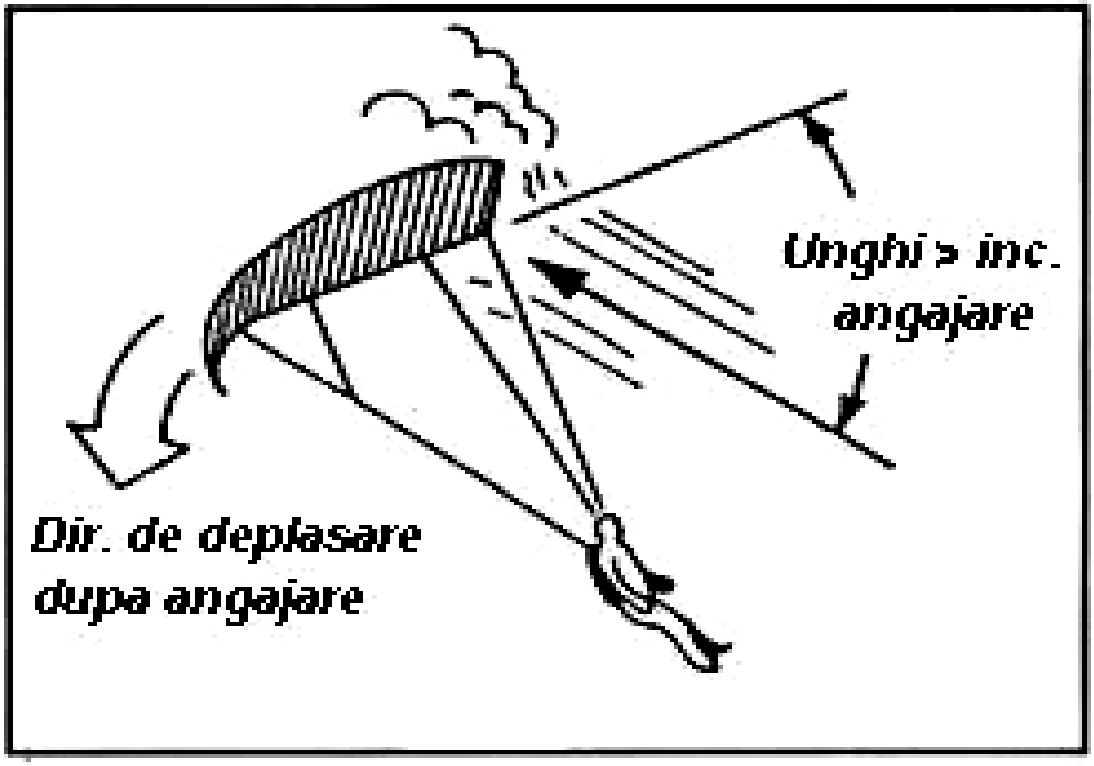
Portanța şi rezistența, sunt amandouă rezultatul curgerii aerului pe aripă. Deoarece curgerea aerului pe aripă creează aceste forte, mai mult flux de aer pe aripă, inseamnă mai multă forță. Portanța şi rezistența cresc in proporție geometrică cu viteza: de două ori viteza, inseamnă de patru ori portanța şi tot de patru ori rezistența. Aceasta inseamna ca viteza aerului este cruciala pentru performanțele aripii. Zburand mai repede inseamnă – pană la un punct – mai multă portanță şi răspuns mai rapid al voalurii la comenzi. In acelaşi timp creşte şi rezistența, de aceea voalurile de viteză au unele particularitați constructive pentru a reduce rezistența cum ar fi: paraşuta extractoare retractabilă, slider colapsabil şi diametru mic la suspante grosimea mai mică a profilului.

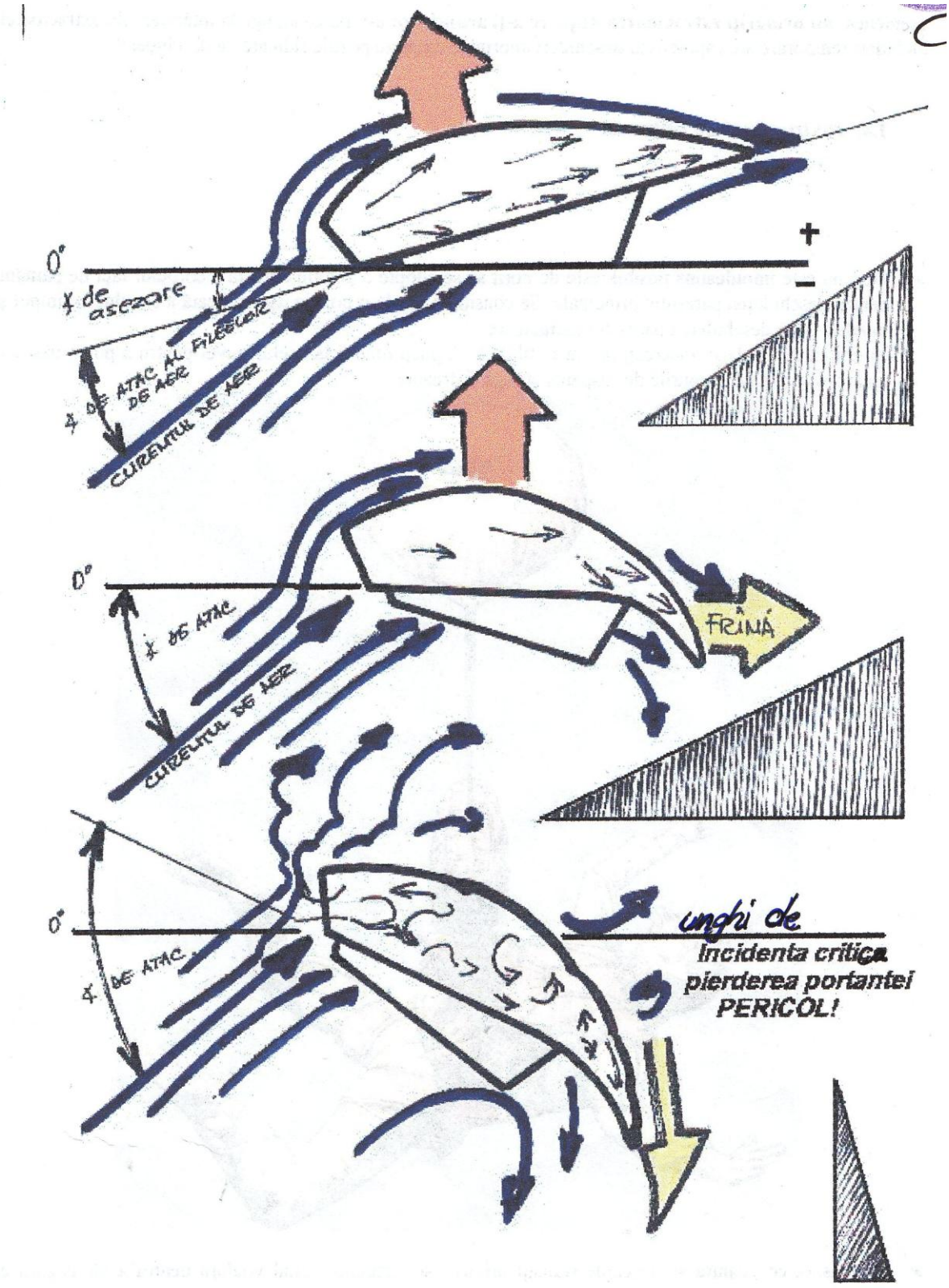
2.7 Zborul la unghiuri de incidență mari- angajarea

Fluidele in curgerea lor pe o aripă au o altă caracteristică interesantă – caracteristică ce se poate vedea uşor urmărind apa care curge peste o piatră intr-un rau. Fluidul va incerca sa urmarească curbele unui obiect cat mai cursiv posibil. O aripă işi poate modifica forma sau direcția printr-o tragere uşoară a comenzilor fără intreruperea fileelor de aer.

Dar dacă direcția sau forma aripii se modifică brusc, intervine *ruperea fileelor de aer*. In locul unei curgeri cursive a fileelor de aer pe voalură, se produce o turbionare a aerului (o rupere a fileelor de aer).

Acest fapt este foarte important pentru paraşutisti deoarece in esența inseamnă că orice manevră bruscă reduce foarte mult efectul de portanță dat de forma aripii. Cel mai des intalnit şi grav exemplu de rupere a fileelor de aer la o paraşută, este angajarea la viteză mică, dar există multe alte exemple: tragerea excesivă a chingilor de fată, “pomparea” comenzilor şi acționarea bruscă şi foarte amplă a unei comenzi de pilotare.




0°
+
-
∢ de așezare
∢ DE ATAC AL FILETULUI DE AER
CURENTUL DE AER
0°
∢ DE ATAC
CURENTUL DE AER
FRÂNĂ
0°
∢ DE ATAC
unghi de
incidență critică
pierderea portanței
PERICOL!

2.8 Tracțiune şi Greutate

Pentru ca o aripă să se mişte prin aer şi sa producă portanță, are nevoie de o forță de propulsie. Normal o vom denumi tracțiune. La un avion este uşor de inteles, motorul creeaza tracțiunea. La o paraşută, *gravitația* este motorul. La o paraşută aripă, suspantele A (de pe bordul de atac) sunt mai scurte decat suspantele D (de la bordul de fuga), făcand ca voalura sa fie mai inclinata spre față. Aerul este deflectat in spatele aripii făcand ca paraşuta sa aibă viteza de inaintare. Greutatea sistemului (paraşutist + paraşută + echipament) trage in jos aripa. Aripa alunecă, ca o sanie pe o pantă, pantă determinată de lungimea diferită a suspantelor.

Cu cat există o greutate mai mare care sa tragă in jos, cu atat mai multă tracțiune vom avea. Vom numi greutatea care se afla sub aripă, ca fiind *incărcarea aripii,* un termen important in pilotarea paraşutei. Incărcarea aripii se referă la greutatea la părăsirea avionului - paraşutist + paraşută + tot echipamentul – şi este exprimată prin raportul dintre greutatea in livre şi suprafața aripii in picioare pătrate. Acest lucru este adevărat atat timp cat paraşuta se afla in zbor planat in linie dreaptă.

Oricum, incărcarea aripii se poate modifica foarte mult in timpul unui viraj. Pentru a exemplifica mai simplu acest concept, imaginați-vă o greutate la capătul unei sfori pe care o invartiți. Cu cat o invartiți mai repede cu atat pare mai grea. Acelaşi efect apare şi la paraşută atunci cand se face un viraj din comanda de pilotare. Pe masură ce voalura face virajul, corpul paraşutistului continuă deplasarea in linie dreaptă, pană cand voalura il trage pe o nouă direcție. Dacă virajul continuă, forța centrifugă il presează pe paraşutist in exteriorul virajului in afără voalurii. Cand virajul se opreste, greutatea suspendată (parasutistul) revine inapoi sub voalură. Tranziția de la momentul cand paraşutistul este presat in exteriorul virajului la momentul cand acesta revine sub voalură este momentul cand voalura atinge viteza cea mai mare. Voalura atinge viteza maximă datorită creşterii incărcării pe aripă cat şi datorită creşterii vitezei de coborare. Cu cat virajul va fi mai rapid, cu atat mai multă greutate va fi suspendată de voalură. Putem denumi aceasta ca fiind o greutate aparentă sau indusă, fată de greutatea normală suspendată de voalură.

De reținut că in anumite manevre se poate reduce incarcarea pe aripă pentru scurt timp. La anumite tipuri de voaluri, paraşutistul poate executa un viraj in care corpul sau este aruncat in sus in timp ce voalura pleacă in jos şi pentru moment suspantele se detensionează, insemnand ca incărcarea pe aripă a scăzut pană aproape de zero in acel moment.

Pană la un punct, mai multă greutate (tracțiune) la o paraşuta imbunătățeşte performanțele. Intorcandu-ne la comparația cu sania, adăugand tot mai multă greutate pe sanie, aceasta va merge tot mai repede pană la punctul in care ori se va scufunda in zăpadă, ori se va rupe. Fără incărcare suficientă pe aripă voalura va fi inceată şi instabilă (sensibilă la orice turbulență), in timp ce crescand incărcarea pe aripă imbunătățim viteza. Din moment ce portanța creşte cu pătratul vitezei, o aripă

care se deplasează cu 10 m/s produce de patru ori mai multă portanță decat o aripă care se deplasează cu 5 m/s. Din aceasta cauză numai paraşutistii cu multă experientă şi in baza unei pregatiri adecvate, pot folosi paraşute cu incărcare pe aripă de 1,4 sau mai mare. Performanțele crescute care apar la incărcare mare pe aripă nu se simt doar la zborul in linie dreaptă, cat şi in viteza pe viraj, filajul la aterizare, cat şi un raspuns mai promt la comenzi in celelalte manevre. Dar totul are un preț. Prețul pentru o incărcare mai mare pe aripă il vom discuta intr-un capitol viitor.

2.9 Centrul de greutate, Centrul de portanță

Centrul de portanță este punctul unde se concentrează forța portantă pe aripă. Centrul de greutate este locul unde se concentrează greutatea sistemului. La o paraşută aripă greutatea este concentrată mult sub aripă, prin aşezarea pilotului. Prin schimbarea relativa a poziției centrului de greutate fată de centrul portanță, unghiul voalurii poate fi modificat, modificand unghiul de atac al aripii.

2.10 Unghiul de atac

Multi paraşutisti cred ca unghiul de atac inseamnă unghiul relativ al paraşutei față de pământ. Lucru neadevărat! Unghiul de atac inseamnă unghiul corzii medii al aripii față de vantul aparent. Schimbarea unghiului de atac se face prin manevrarea aripii față de vantul aparent. Un avion face acest lucru cu ajutorul cozii, dar paraşuta nu are acest avantaj. Singurul mod in care se poate face schimbarea unghiului de atac la o voalură este prin tragerea comenzilor de pilotare. La tragerea de comenzi, greutatea suspendată sub voalură (parasutistul) pleacă in față, voalura fiind mai uşoară se franează mai repede decat paraşutistul. Din aceasta rezultă că unghiul de atac creşte temporar, generand portanță mai mare, datorată unei deflexii mai mari a aerului.

De reținut că la tragerea comenzilor, modificarea unghiului de atac se face prin modificarea unghiului față de vantul aparent prin deplasarea paraşutistului spre inainte față de voalură. Modificarea formei voalurii este cea care crează acest efect la acționarea comenzilor, dar dacă greutatea paraşutistului nu se deplasează spre inainte, unghiul de atac nu se modifică semnificativ şi se obține doar o uşoară creştere a portanței, creştere obținută prin modificarea unghiului de pantă. Pilotarea paraşutei pe panta finală la salturile de precizia aterizării este un exemplu de folosire a acestui procedeu fără modificarea semnificativă a unghiului de atac.

La paraşutele de viteză, cand la aterizare se face un palier (filare/zbor paralel cu solul) printr-o aplicare constantă a franei, voalura işi va reduce viteza tot mai mult, pilotul rămanand uşor inainte față de poziția normala sub voalură, menținand un unghi de atac mărit şi astfel o deflexie mai mare a aerului. De indată ce viteza voalurii se pierde pilotul revine la poziția normală sub voalură. In acest moment nu mai există viteză care să producă portanță de nici un fel şi urmează o cădere pe

verticală pană la momentul in care voalura işi recaştigă viteza de inaintare sau sau intervine contactul cu solul.

2.11 Unghiul de Incidență

Unghiul de incidență este deseori confundat cu unghiul de atac. Unghiul de incidență poate fi inteles ca fiind inclinarea aripii (bord de atac ridicat sau coborat) si este creat din construcție prin lungimea suspantelor. Poate fi modificat prin tragerea chingilor de fața sau de spate. Trăgand chingile de față, aripa va cobori mai repede, dar vantul aparent va rămane relativ constant, chiar dacă la inceputul si sfarsitul manevrei acesta se va modifica pentru scurt timp. Majoritatea parasutelor aripă, sunt construite in asa fel incat din lungimea suspantelor sa se obțină o pantă de coborare de aproximativ trei metri inaintare la un metru de coborare, panta care o vom denumi *finețe aerodinamică* (ex. Finețe aerodinamică la parasuta Manta 290 este de 4 – 4,5:1).

Unghiul de incidență poate fi diferit in funcție de destinația parasutei (parasute de inițiere si antrenament, parasute pentru precizia aterizarii, pentru Lucru Relativ pe Cupolă, parasute de viteză).

Cu un unghi de incidență mic (se poate obține si prin tragerea chingilor de spate) voalura va zbura, dar nu va fi suficient presurizată ca si o aripă care are chingile de față trase, rezultatul va fi o aripă sensibila la turbulențe. Un unghi de incidență mare (se poate obține si prin tragerea chingilor de față) creşte rata de coborare si presurizarea aripii va fi mai bună, dar vom avea o finețe aerodinamică mai mică, si o pierdere a eficacității pernei la aterizare.

2.12 Curbura aripii :

Cand trageți de comenzile de pilotare se schimbă nu numai unghiul de atac ci si forma aripii. Aripile cu o curbură mare, generează multă portanță la viteze mici, dar creează si foarte multă rezistență la inaintare datorită formei. Dacă trageți de comenzi si le mențineti trase, aceasta modificare a curburii aripii va modifica felul cum zboară parasuta. Rata de coborare va scade, la fel si viteza de inaintare. Viteza mare de coborare, in zbor cu comenzile sus, este transformată in portanță, la momentul franarii mai mult din modificarea unghiul de atac. In situația cand vreți să incetiniți viteza de coborare pe o perioadă mai mare, mărirea curburii aripii trăgand de comenzi (franare usoară) este o metodă eficientă de a realiza acest lucru.

2.13 Parametri constructivi

In general voalurile se se deosebesc prin: *forma voalurii, atitudine si incarcare*. Constructorul stabileste primele doua caracteristici, iar parasutistul a treia. Alegerea acestor caracteristici determina modul cum zboara parasutele, si chiar fără a sari cu acea parasuta, veti putea înțelege cum aceasta zboara daca cunoasteți aceste caracteristici. Forma aripii este definită de *alungire si secțiunea aripii*.

Alungirea este raportul dintre anvergura aripii (distanța maximă dintre punctele laterale ale aripii) si coarda medie (distanța maximă dintre bordul de atac si bordul de fugă). *Secțiunea aripii* este raportul dintre inalțimea maximă a profilului si coarda medie. *Atitudinea* se referă la modul cum forma voalurii atacă vantul aparent pentru a obține maximum de performanță in scopul pentru care a fost construită (inițiere, precizia aterizării, acrobatie, LRC, etc.). *atitudinea* unei parasute este obținută constructiv din lungimea suspantelor si forma voalurii. *Incărcarea aripii* este alegerea paraşutistului de a decide cată energie (putere) vrea să imprime sistemului.

2.14 Alungirea

In teorie, voalurile cu alungire mare zboară mai repede deoarece cu cat alungirea este mai mare cu atat scade rezistența la înaintare pentru aceiasi portanță produsă. Cu alte cuvinte, o paraşută cu 290 picioare pătrate cu 9 celule (Manta 290), produce mai multă portanță decat o paraşută cu 7 celule si cu aceeaşi suprafață (Parafoil) pentru aceeaşi cantitate de rezistență la înaintare. De ce să nu construim o voalură cu 290 picioare 11 celule cu alungire foarte mare?

In practică, limitele voalurilor au ajuns la aprox. 3:1. La acest punct, constructorii întampină cateva probleme. Spre deosebire de aripa unui avion, paraşuta nu are o structură solidă, dar isi menține forma datorită presiunii aerului. Pentru a zbura bine o voalură, trebuie menținută o presiune internă bună in fiecare celulă. Cu cat alungirea este mai mare, cu atat mai dificil este sa menții presiunea in celulele laterale. Aripa are nevoie deasemeni sa-si mențină forma corectă, ceea ce inseamnă mai multe suspante si mai multe travee. Dar toate astea înseamna o rezistență la înaintare mai mare.

Voalurile cu alungiri mari folosesc cantități mai mici de comandă si reacționează mai rapid la folosirea comenzilor. Au tendința de angajare mai rapidă şi o umplere cu aer mai greoaie decat voalurile cu alungire mică. Deasemeni, voalurile cu alungire mare au nevoie de mai mult timp să se angajeze intr-un viraj, dar odată inițiat virajul, acesta va fi mai rapid decat la o paraşută cu alungire mică la aceeaşi suprafață a voalurii. In cele din urmă, o alungire mai mare duce la mai multe componente (celule suspante, travee) ceea ce face ca volumul in stare pliată sa fie mai mare la aceeaşi suprafață a aripii.

Intre presurizare, reducerea rezistenței la înaintare, si asigurarea unei deschideri bune a voalurii, voalurile cu cele mai mari alungiri nu depăşesc un raport de 3:1. In general voalurile cu noua celule se apropie de raportul 3:1, iar cele cu şapte celule rar trec de raportul de 2,2:1. O voalură cu nouă celule zboară mai repede decat una cu sapte celule deoarece are o rezistență indusă mai mică, dar are cu 20% mai multe suspante, travee si celule deschise decat una cu şapte celule, acestea contribuind la mărirea rezistenței parazite. Voalurile cu 9 celule au finețe aerodinamică mai bună decat cele cu 7 celule.

Deoarece au o deschidere mai sigură si intră in angajare mai greu, practic toate rezervele aripă au maxim 7 celule. Deci există voaluri specializate pentru precizia aterizării, lucru relativ pe cupolă, ori diferite alte aplicații pentru care viteza mică de zbor si deschiderea sigura sunt mai importante decat viteza si finețea aerodinamică.

2.15 Secțiunea aripii

Secțiunea aripii este dată de forma traveelor (o vedere in secțiune laterală a voalurii). Voalurile care zboară cu viteză mică, trebuie sa aibă un profil gros pentru a produce suficientă portanță. După cum am vorbit şi in capitolul anterior, o voalură cu profil gros are o rezistență la înaintare mai mare decat una cu un profil subțire. Voalurile pentru precizia aterizarii şi LRC pot avea o grosime a profilului de 15 pană la 18% din coardă medie, in timp ce voalurile de LRCL au doar o secțiune de 10%. Asadar, voalurile cu secțiuni inguste zboară mai repede, produc mai puțină portanță la viteze mici, se angajează mult mai uşor si au viraje mai abrupte. Curbura profilului este deasemeni foarte importantă. Dacă centrul de portanță al aripii este mult in față, voalura va avea o rată mare de coborare si o foarte bună presurizare. Mutand centrul de portanță mult în spate, vom avea un indice de planare mai bun, dar voalura va fi mai slab presurizată, acest fapt combinat cu o alungire mare va duce la o voalură cu probleme de presurizare pe capetele laterale şi închiderea lor pe viraj. Voalurile eliptice, prin designul lor, rezolvă aceasta problemă: rotunjind spre spate bordul de atac si reducand dimensiunile celulelor laterale, aceasta pare sa ducă la o mărire a presiunii pe celulele laterale. Un beneficiu in plus, voalurile eliptice au un răspuns mult mai rapid la comenzi.

Rezumat

Cateva idei de bază despre parametrii constructivi ai voalurilor cu 7 sau 9 celule la aceeasi suprafață:

- Voalurile cu 7 celule işi mențin mai bine direcția la deschidere, volumul in stare pliată va fi puțin mai mic la aceeasi suprafață si o deschidere mai sigură. In situația unei deschideri parțiale a voalurii, vor avea o rată de pierdere a inalțimii mai scăzută si un comportament mai puțin violent.
- O voalură cu 9 celule are un indice de planare mai bun, acoperind o distanță mai mare. Va avea un filaj mai lung, dar are nevoie de o distanță mai mare de aterizare.
- Voalurile cu 7 celule vor fi mai stabile la viteze mici, dand mai multe avertismente înainte de angajare si va avea o revenire din angajare mai sigură decat una cu 9 celule.
- Voalurile cu 9 celule pot avea mai multă viteză de înaintare, şi un avantaj la zborul cu vant de față.

2.16 Atitudine

Atitudinea se referă la modul in care voalura este aşezată constructiv pe fileele de aer şi pantă pe care coboară – unghiul de incidență. Aceasta are efect asupra performanțelor paraşutei. Cu bordul de atac coborat voalura va avea o rată mai mare de coborare (o pantă mai abruptă) şi o stabilitate mai bună. Cu bordul de atac ridicat paraşuta va avea o finețe aerodinamică mai bună (o pantă mai lină), dar face ca paraşuta sa fie mai sensibilă la turbulențe şi deformari si deasemeni va avea nevoie de mai mult timp pentru redeschidere odată ce s-a inchis (in momentul angăjarii).

In mod curent, voalurile de precizie şi cele de LRC sunt construite cu bordul de atac coborat (unghi de incidență mărit) in timp ce voalurile de acrobație, LRCL, etc. au bordul de atac mai ridicat. *Atitudinea* afectează in aceeasi masură atat finețea aerodinamică cat si filarea la aterizare. O voalură cu unghi mare de incidență va avea un filaj scurt la aterizare, dar in schimb voalura va fi mult mai stabilă la franare şi va avea o revenire mai uşoară din inchideri sau angajare.

Lungimea comenzilor de pilotare afectează deasemeni performanțele aripii. Avand comenzile de pilotare prea lungi diminuează eficacitatea comenzilor şi poate face ca voalura sa nu se franeze suficient la aterizare. Dacă comenzile sunt prea scurte, paraşuta va zbura parțial franată şi există pericolul ca la franarea pentru aterizare să intre in angajare.

2.17 Incărcarea aripii

Încărcarea aripii se referă la greutatea la părăsirea avionului - paraşutist + paraşuta + tot echipamentul – şi este caracteristica cea mai importantă care afectează modul cum zboară paraşutele. Incărcarea aripii este raportul dintre in greutate şi suprafața aripii. Majoritatea paraşutelor au specificată de către constructor suprafața voalurii in picioare patrate (*sq.ft*.) iar greutatea la parasirea avionului - paraşutist + paraşuta + tot echipamentul in livre. Astfel la Manta 290 voalura are 290 *sq.ft*. Pentru a uşura calculele putem folosi pentru transformare din *kg* in livre formula urmatoare: Kgx2+10%=lb ;

De exemplu:
Pentru un paraşutist de 70*kg* adăugam greutatea paraşutei 14*kg*, greutatea echipamentului 4*kg* (casca, combinezon, ghete, etc.),
în total 88*kg* x 2=176
10% din 176=17,6
176+17,6≈193,6 *lb.*
Pentru a afla încărcarea pe aripă împărțim greutatea în livre la suprafață aripii în picioare patrate. Aşadar, acel paraşutist dacă zboară cu o Manta 290 va avea o încărcare de:
$193{,}6lb / 290sq.ft. = 0{,}66$;

daca va zbura cu Sabre 150 va avea o încarcare de:

$193{,}6lb/150sq.ft. = 1{,}29$.

Ca o regulă, cu cat creşte încărcarea aripii cu atît cresc şi performanţele acesteia. La incărcări foarte mici, voalura va avea viteză mică de înaintare şi va răspunde greu la comenzi. Crescand încărcarea aripii va creşte atat viteza de înaintare cat şi viteza de coborare. Aceasta mărire a vitezei implică şi mărirea vitezei pe viraj şi va face ca voalura sa fie mult mai sensibilă la acţionarea comenzilor. De reţinut ca portanţa creşte odată cu viteza, o încărcare mare pe aripă va insemna că filarea pentru aterizare va fi mai lungă decat la o incărcare mică. Dar din moment ce totul se produce mai repede, marja de eroare se reduce drastic, iar problemele minore (pozitie inclinată la deschidere, ruperi de suspantă sau comandă de pilotare, răsuciri la deschidere, etc.) **devin grave pe măsură ce creşte încărcarea aripii**. Punctul de angajare (momentul cand intervine ruperea fileelor de aer) apare la o viteza mai mare cu cat creşte incărcarea pe aripă.

2. 18 Recomandări generale privind incărcarea pe aripă:

- ✓ Pentru aterizari uşoare, aerodroame cu înălţime mare faţă de nivelul mării, sau parasutisti care fac puţine salturi pe an (>30 salturi/an) folosiţi o încărcare de: 0,6 pană la 0,9;
- ✓ Pentru a face o îmbinare între siguranţa zborului si performanţele aripii se recomandă o încărcare de: 1 pană la 1,1;
- ✓ Pentru o paraşută de viteză, încărcare de 1,2 pană la 1,4. La încărcări peste 1,4 voalurile ajung la limita performanţelor şi pot fi folosite în salt doar de paraşutisti cu foarte multă experienţă.
- ✓ De regulă, la voalurile de 9 celule cu porozitate zero (zero porosity) se poate folosi o încărcare mai mare decat la cele cu 7 celule care au material cu porozitate (F-111). Un paraşutist care foloseşte frecvent o paraşută cu 7 celule cu încărcare 0,8 , poate cu puţină pregătire să folosească o paraşută cu 9 celule “zero porosity” la încărcare de 1,1 – 1,2.

B. TEORIA ŞI TEHNICA ZBORULUI / SALTULUI CU PARAŞUTA

3. Bazele fizice ale mişcării corpurilor in aer

3.1 Principiile de bază ale mecanicii :
Cunoasterea principiilor care generează miscarea corpurilor in aer este deosebit de importantă pentru parasutist deoarece acesta isi poate creea o imagine corectă asupra miscarii la viteze diferite cu care parasutistul,in cădere liberă ,stabilizată sau cu parasuta deschisă se indreaptă spre pământ.

Principiul inerției;
Atat timp cat asupra unui corp nu acționează o forță exterioară el isi păstrează starea de repaos relativ sau de miscare rectilinie uniforma.
Miscare in virtutea inerției—daca nimic nu schimba valoarea miscarii se ajunge la o viteza constantă,viteză critică.

Legea fundamentală a mecanicii:
Precizează că: intotdeauna o forța exterioară acționand asupra unui corp ii modifică viteza,imprimadu-i o accelerație proporțională cu mărimea acestei forțe si invers proporțională cu masa corpului respectiv, dirijate după direcția in care acționează forța.

$$F = m \times a$$

Unde:
F = forța care acționează(kgf)
m = masa corpului
a = accelerația imprimată(m/s)

Cu cat forțele care acționează asupra paraşutistului sunt mai mari,cu atat vor fi mai mari accelerațiile pe care va trebui sa le suporte.

Forța de gravitație imprimă corpurilor o accelerație egală cu:

$$g = G / m.$$

Unde:
g =accelerația gravitațională care are valoare de 9.80 - 9.83 m/s² în funcție de latitudinea şi altitudinea locului; valoarea medie este de 9.81m/s²
G=greutatea corpului
m=masa corpului

Masa unui corp este raportul dintre greutatea corpului si accelerația gravitațională.

$$m = \frac{G}{g}$$

Dacă nu ar exista atmosferă,corpurile s-ar mişca uniform accelerat.
In realitate datorită forței de rezistență la înaintare pe care o întâmpină din partea atmosferei,forța care se opune mişcarii frânând-o,viteză va fii mai mică.

Principiul acțiunii si reacțiunii:
Acțiunile reciproce dintre două corpuri sunt întotdeauna egale şi dirijate în sensuri contrare. Acest principiu explică cauzele apariției forței de tracțiune create de elicea avionului; motoare reactive.

3.2 Definiții termeni generali folosiți :

Lungimea*:*

Lungimea definește intinderea unui corp pe o anumită direcție spațială. Definiția lungimii din fizică este practic identică cu cea a segmentului de dreaptă. (distanța dintre 2 puncte). Simbolul lungimii este litera minusculă l. Unitatea sa de măsură in același sistem este metrul, simbol litera mică "m".

Timpul*:*
Timpul este marimea fizica ce caracterizeaza succesiunea fenomenelor .
Durata de timp scursă între două evenimente poate fi definită pe baza unei mișcări uniforme (de exemplu deplasarea luminii între două oglinzi paralele, rotirea Pământului), sau și pe baza unui fenomen repetitiv (cum ar fi oscilația unui pendul gravitațional, a unui pendul elastic, a unui circuit LC, etc.). Prin această metodă se poate defini doar timpul pentru punctul din spațiu în care este plasat instrumentul de măsură (ceasul). Pentru alte puncte din spațiu este necesar să se stabilească mai întai noțiunea de „simultăneitate la distanță” — un criteriu după care să se poată declara dacă două evenimente ce au loc în puncte diferite din spațiu sunt simultane sau nu.

Masa:

Masa unui corp sau a unei particule este una din cele 7 mărimile fizice fundamentale. Masa se definește drept acea mărime măsurabilă ce determină cantitatea de substanță conținută într-un corp sau particulă, determinabilă la nivel macroscopic și măsurată, de asemenea, macroscopic. A nu se confunda cu greutatea unui corp. Simbolul masei este litera minusculă "m", iar unitatea sa de măsură, în Sistemul Internațional (SI) este "1 kilogram", sau exprimat simbolic și comun, "1 kg". Formula corespunzătoare celor de mai sus este:

$$\langle m \rangle_{SI} = 1\ kg \langle m \rangle_{SI} = 1\ kg$$

Masele se pot compara prin cantărire.

***Greutatea**:*

Greutatea unui corp este forța cu care un cîmp gravitațional acționează asupra corpului. De exemplu greutatea unui corp aflat la suprafața Pământului este

$$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

unde *m* este masa corpului, iar $\vec{g}$ este vectorul accelerației gravitaționale la suprafața Pământului, orientat spre centrul planetei și cu valoarea standard de 9,80665 m/s² (valoarea reală depinde de poziția geografică și de altitudine).

***Forța**:*

Forța este o mărime fizică ce acționează asupra corpului şi poate fii reprezentată prin vectori. Forța gravitațională este forța care acționează tot timpul asupra corpurilor cu valoarea de 9,81 m/s² .

Forțele care acționează asupra corpului în cădere liberă sunt rezistența la înaintare Fx(R) si forța de gravitatie (g).
Deoarece corpul paraşutistului se află într-o mişcare continuă de la părăsirea aeronavei pană la aterizare este necesară studierea caracteristicii acestei mişcări.

Viteza :

Este spațiul parcurs într-o unitate de timp şi se masoară în km/h sau m/s.
Dacă se neglijează rezistența aerului asupra corpului în cădere şi se îndepartează suprafețele de sprijin ale acestuia,va cădea cu o viteză de creştere egală cu 9.81 m in fiecare secundă. In realitate nu se poate neglija rezistența aerului in urma căreia viteza unui corp in cădere după un timp se va stabiliza ajungand la o viteză critică.
La o viteză uniformă a corpului, viteza se va calcula dupa formula:

V= s / T

Unde:
s = spațiul parcurs (în m sau in km)
T = durata mişcării (în s (secunde) sau h (ore)).

Dacă viteza paraşutistului în cădere nu este constantă prin formula de mai sus,obținem o viteză medie.

Pentru coborarea cu paraşuta deschisă formulă aplicată este:

$$Vc = \frac{H}{tc}$$

Unde:
Vc =viteza de coborare cu paraşuta deschisă;
H = înălțimea deschiderii paraşutei;
tc =timpul de coborare a paraşutistului cu paraşuta deschisă.

ex: $\frac{1000\ m}{} = 5.8 m/s$

170s

Accelerația:
Este schimbarea vitezei în unitate de timp.Se notează cu g şi poate fii pozitivă cand creşte—ex. În cădere liberă si negativă cand scade—ex. la deschiderea paraşutei.

Spațiul:
Este linia (traiectoria) pe care o descrie corpul in timpul mişcarii. Aceasta poate fi liniară,curbă si circulară.

4. Teoria căderii corpurilor in aer

4.1 Rezistența la inaintare (Fx sau R).

De la părăsirea bordului aeronavei pană la aterizare, paraşutistul se află in continuă miscare, asupra acestuia acționand o multitudine de forțe. Asupra unui corp care cade in aer, pe langă forța de atracție gravitațională, acționează o forță de sens contrar forței gravitaționale, opusă căderii corpului si care poartă denumirea forță de rezistență la inaintare (Fx). Aceasta este dependentă de următorii factori:
- **densitatea aerului** " ρ " care modifică valoarea rezistenței la inaintare in mod direct (dacă densitatea creşte atunci creşte si Fx sau R);
- **viteza de deplasare a corpului** (V)
- **dimensiunile corpului**, rezistența la inaintare va creşte odata cu creşterea suprafeței (S) a corpului care se opune curentului de aer;
- **forma si starea suprafeței corpului**, printr-un coeficient adimensional (Cx) – rugozitatea sau finețea materialului.

4.2 Densitatea aerului.

Aerul este un amestec de gaze cu proprietăți diferite care au influență asupra parasutistului in cădere liberă si in coborare cu parasuta deschisă.
In conditii standard:
Presiunea atmosferică are valoarea 760 mm Hg;
Densitatea (ρ) are valoarea de 1,293 kg/m³ ;
Temperatura (t) are valoarea de 15 ºC
Deoarece aerul are greutate, densitate si presiune bine definite orice corp care se miscă in aer este supus la rezistența aerului. In timpul deplasării corpului prin aer acesta dislocă moleculele de aer ce-l intampină. Corpul se freacă de acestea antrenand după el o parte din ele. Pentru a le antrena după el corpul trebuie să depună o muncă. Aceasta reprezintă produsul dintre rezistența aerului si spațiul parcurs de corp.
Mărimea rezistenței aerului depinde de:

4.3 Viteza de deplasare.

Rezistența aerului creşte proporțional cu pătratul vitezei.

Ex.: dacă V=0 m/s atunci R=0 kgf
dacă V=2 m/s atunci R=4 kgf
dacă V=4 m/s atunci R=16 kgf

Rezistența creşte direct proporțional cu densitatea aerului.
dacă ρ=10% atunci R>10%

4.4 Suprafața corpului.

Rezistența creşte direct proporțional cu suprafața.

Ex.: dacă S=1 m² atunci R=1 kgf
dacă S=2 m² atunci R=2 kgf
dacă S=4 m² atunci R=4 kgf

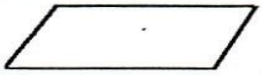
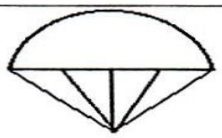
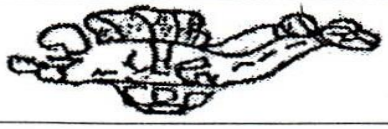
Forma si starea suprafeței.

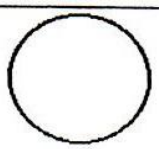
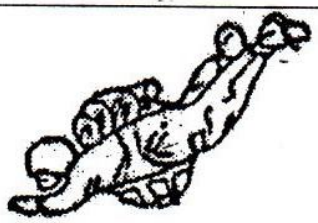
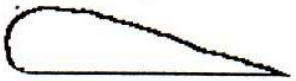
Rezistența depinde de duritatea si rugozitatea suprafeței.

5. Coeficientul de rezistență aerodinamică (Cx):

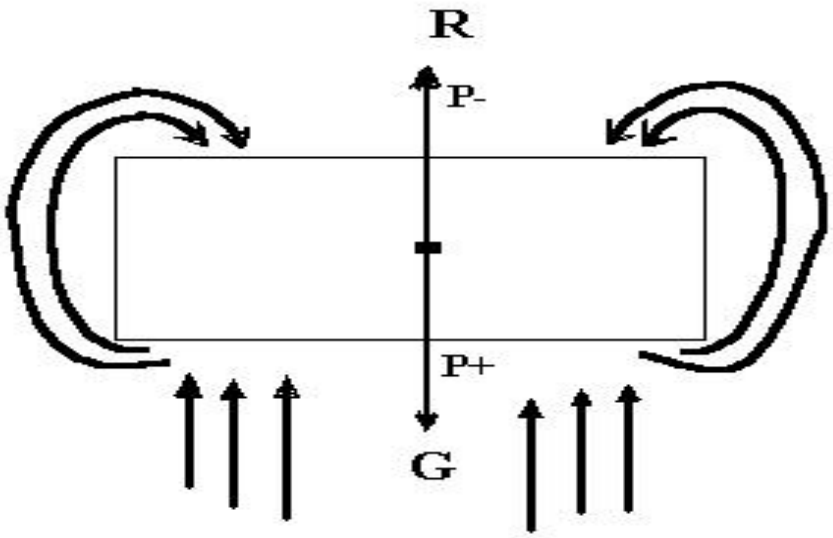
Coeficientul de rezistentă aerodinamică sau de rezistenta la inaintare (Cx) reprezinta influenta formei corpului si orientarea corpului fată de directia de zbor, asupra rezistentei la inaintare si se determină experimental.

Tabel cu coeficienții de rezistență a diferitelor corpuri

Denumirea corpului	Forma	Coeficienții de rezistență
Emisferă		1,42
Obiect plan		1,28
Paraşută		0,9
Paraşutist în cădere		0,28

Sferă		0,2
Paraşutist în cădere sub unghi de 45º		0,2
Corp aerodinamic		0,05

Pe măsura accelerării căderii corpului in aer sub acțiunea forței gravitaționale (g=9,81 m/ s²), forța de rezistență la inaintare creşte pană intr-un anumit moment in care acesta echilibrează forța gravitațională. Din acest moment, asupra corpului acționează două forțe egale si de sens contrar, care-i intreține miscarea cu o viteză constantă numită viteza limită (**V** lim).



5.1 Rezistenta la inaintare:

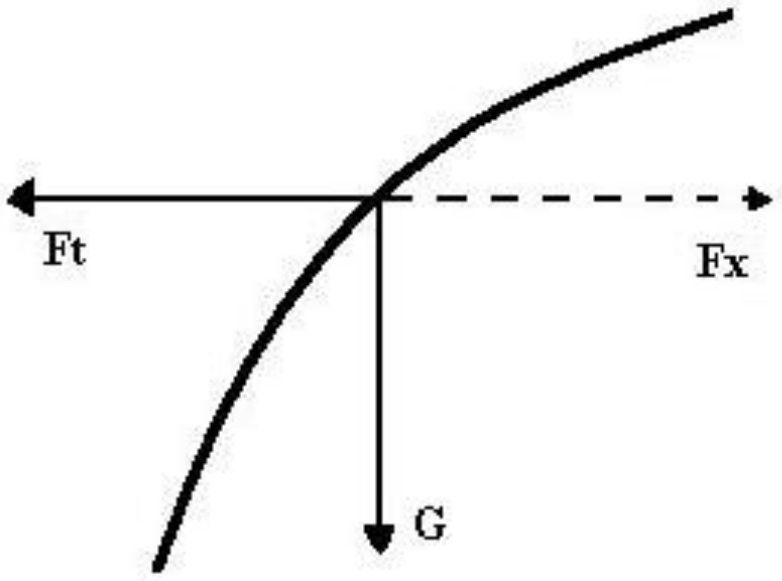
$$Fx = \frac{\rho}{2} V^2 S\, Cx$$

Unde:
Fx(R)= forta de rezistență la inaintare
S = suprafața frontală a corpului pe care acționează particulele de aer;
Cx = coeficientul de rezistentă aerodinamică (determinat experimental pentru diferite forme)
V=viteza de cădere a corpurilor

Acest fenomen stă la baza descoperirii parasutei deoarece alegand o anumită suprafață opusă curentului de aer, se poate micsora viteza limită pană cand aceasta să nu mai fie periculoasă pentru parasutist (considerand corpul care se miscă in aer format din sistem parasuta + parasutist).
Din momentul părăsirii aeronavei pană la aterizare, se pot evidenția anumite faze prin care trece succesiv complexul parasuta-parasutist:
- Cădere liberă
- Coborare cu parasuta deschisă
- Aterizarea

5.2 Directia si viteza in caderea libera

La părăsirea bordului aeronavei aflate in zbor orizontal, miscarea parasutistului in cădere liberă se efectuează pe o traiectorie curbă, in plan vertical, sub acțiunea forțelor de rezistență la inaintare (Fx), de inerție si a acceleratiei gravitationale.



Pe măsura căderii parasutistului, ponderea forței de inerție scade datorită componentei orizontale a forței de rezistență la inaintare pană la anularea reciprocă,

corpul continuand căderea numai pe direcție verticală. Viteza de cădere creşte cu cat timpul de cădere este mai mare.

După un anumit timp de cădere parasutistul ajunge la o valoare a vitezei (viteza limită in cădere liberă) care se păstrează constantă atat timp cat poziția de coborare rămane neschimbată, moment in care cele două forțe Fx si G devin egale si de sens contrar.

$$G = Fx = S\,Vlim^2 Cx$$

$$Vlim=\sqrt{\frac{2G}{\rho S * Cx}} \approx \sqrt{\frac{2G}{\rho l^2 Cx}} \approx \sqrt{\frac{2G}{\rho l^2 Cx}}$$

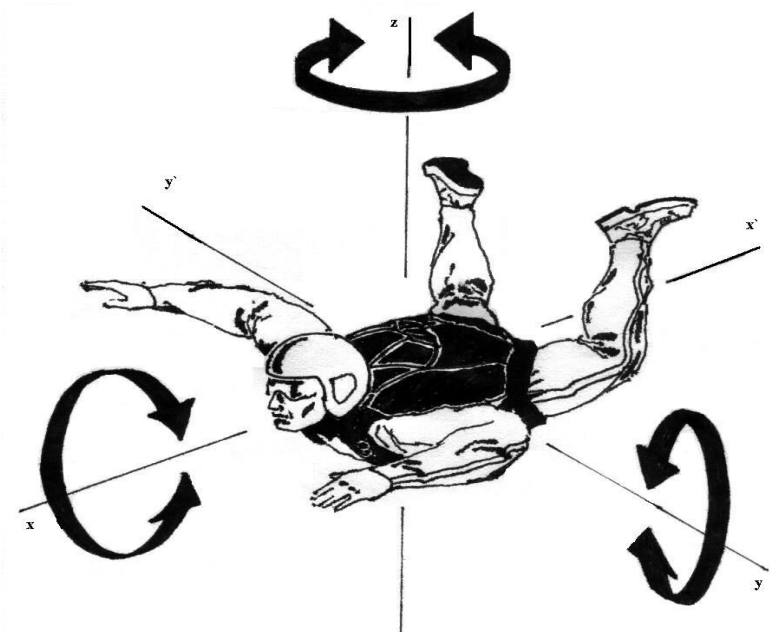
Unde:
Cx = coeficientul de rezistentă aerodinamic;
G = greutatea parasutistului.
Din formula rezultă că viteza limita depinde de:
Greutatea parasutistului (echipament+parasutist);
Inalțimea de zbor (corespunzator densitații aerului la inalțimea de calcul);
Marimii si poziției parasutistului in timpul căderii libere;
Timpul de cădere liberă.

Se ajunge la viteză limită dupa o cădere de aproximativ 10 secunde. In acest timp parasutistul parcurgand aproximativ 300 m. Atat timp cat parasutistul își menține un stil corect de cădere (simetric) distribuția forțelor ce acționează asupra acestuia sunt regulate si căderea este stabilă. In cazul modificării distribuției de forțe datorată unui stil neechilibrat (nesimetric, ex. scoaterea unei maini in lateral) acesta intră intr-o miscare dezordonată; rotire sau rostogolire, controlată sau necontrolată. Cand miscarea corpului este controlata de parasutist, prin provocarea unor astfel de dezechilibrări de forțe, se realizează figurile componente ale gamei de acrobație.

6. Momente aerodinamice in cădere liberă

Cunoscand centrul de greutate (G) al parasutistului drept origine a unui sistem de 3 axe vom observa următoarele: datorită forțelor aerodinamice care acționează asupra parasutistului in cădere (corp, maini si picioare) vor aparea momente aerodinamice ce vor roti parasutistul in jurul celor trei axe. Aceste miscări se obțin in urma schimbarii pozitiei (controlate sau necontrolate) a brațelor si picioarelor.

6.1 Momentul de ruliu : are loc in jurul axului longitudinal **x-x'** cunoscut si sub denumirea de tonou. Acest moment aerodinamic se obține prin lipirea de corp a unuia dintre brațe si intinderea picioarelor.



6.2 Momentul de tangaj: are loc in jurul axului transversal **y-y'**. Acest moment se obține atunci cand dintr-un stil simetric mainile se intind. Poziția corpului se va schimba, se va ridica. Dacă in următorul moment parasutistul trage coatele spre bazin, poziția corpului se va schimba avand o poziție cu capul inclinat in jos. Repetarea acestor miscări intermitent, duce la balansarea corpului față – spate creand momentul de tangaj. Prin executarea unei rotiri controlate de 360º in jurul axului transversal y-y' obținem figura acrobatică denumita looping.

6.3 Momentul de girație: are loc in jurul axei **z-z'** si este cunoscut sub denumirea de viraj. Virajul se obține prin inclinarea ambelor brațe sau a palmelor in aceeasi direcție, in urma căreia parasutistul obține rotiri stanga sau dreapta. Un viraj constă prin rotirea completă a corpului plecand de la un punct fix, 360º. Dacă această rotire nu este oprită ea se accelerează odată cu căderea apărand momentul de vrie, foarte periculos atat timp cat nu este controlat.

6.4 Vria in cădere liberă

Vria se caracterizează prin rotirea involuntară si repetată a parasutistului si descrierea prin aer a unei spirale in jurul axei verticale z-z`.

Apare datorită căderii libere instabile peste 10-12 secunde.

6.5 Tipuri de vrie

Vria verticala:-apare la inceput;

-corpul se roteste cu capul in jos (mult inclinat față de orizontală 40˚-70˚;
-viteza de rotație-1 rotație/secundă;
-viteza verticală de cădere 48-50 m/s de la inalțimea de 1000 metri

Vria plată:-apare datorită trasformării vriei verticale in vrie orizontală (in general, pe spate), sub influența forței centrifuge;

-viteza de rotire-2 rotatii/secundă
-viteza verticală de cădere 32-42 m/s de la inălțimea de 1000 metri

Consecințe:
O vrie prelungită crează probleme psiho-fizice deosebite asupra parasutistului;
Deschiderea parasutei in vrie poate da nastere la incidente datorită răsucirii suspantelor sau a infăsurării acestora in jurul corpului parasutistului;

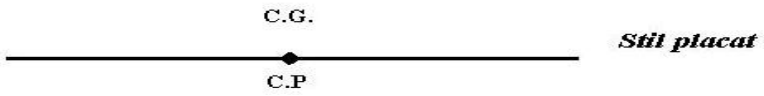
6.6 Căderea Liberă

Este timpul scurs de la părăsirea avionului pană la deschiderea parasutei. Pentru o cădere liberă stabilă, este necesar ca parasutistul să cadă intr-un stil care să-i asigure o simetrie perfectă a corpului. Pentru stabilitatea căderii, in special la parasutistii incepători, stilul cel mai indicat este cel classic .

***Stabilitatea căderii*:**

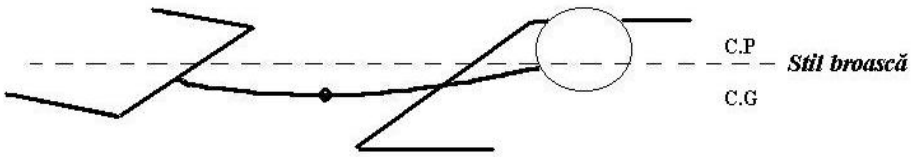
Stabilitatea căderii este influențată de poziția centrului de presiune față de centrul de greutate.

Dacă cele două centre corespund, echilibrul va fi indiferent.



Dacă centrul de greutate este deasupra centrului de presiune, echilibrul este instabil.

Dacă centrul de greutate este dedesuptul centrului de presiune, echilibrul este stabil.



Deschiderea parasutei :

Prin tragerea comenzii , se eliberează clapetele capotei, parasuta extractoare este aruncată in curentul de aer si datorită rezistentei la inaintare a acesteia extrage si intinde suspantele, husa si voalura. In procesul de deschidere presiunea aerului loveste bordul de atac deschis al voalurii si face ca acesta să se umple cu aer, iar parasutistul va simti in urmatorul moment socul la deschidere care reprezintă o descărcare de energie.

$$Q = G \frac{Vc^2 - Vcob^2}{2gS}$$

Unde : Q = socul dinamic la deschiderea parasutei;
G = greutatea parasutistului
Vc = viteza de cădere liberă
Vcob = viteza de coborare cu parasuta deschisă;
g = acceleratia gravitațională
S = spatiul de franare de la Vc la Vcob.

6.6 Pilotarea parasutei , calculul abaterii si corectiei:

Pilotarea parasutei cuprinde toate operatiunile pe care un parasutist trebuie sa le execute pentru a afectua o aterizare intr-un punct stabilit. Pentru acest lucru sa se intample este necesară efectuarea urmatoarelor calcule:

- calcularea abaterii;
- calcularea corectiei.

Abaterea: este distanta masurată in secunde de la verticala locului de aterizare pană in momentul lansarii parasutistului din aeronavă

A = Vvant x Tcob

Unde :
A = abaterea;

Vvant = Viteza vantului;
Tcob = timpul de coborare.
Pentru determinarea abaterii se foloseste parasuta sonda , o parasută similară parasutelor cu care se efectuează zbor/salturi cu parasuta , cu o viteza de coborare aproximativ egală cu viteza de coborare a parasutelor folosite (5 m/s).

$$Tcob = \frac{H}{Vcob}$$

Unde :
Tcob = timpul de coborare ;
H = inăltimea de la care se executa de saltul;
Vcob = viteza de coborare a parasutei (aprox 5 m/s la parasuta sondă);

$$A = \frac{Vvânt \times H}{Vcob}$$

Corectia :este timpul in care avionul străbate intreaga abatere.

$$C = \frac{A}{Vavion}$$

Unde:
C = corectia;
A = abatrea
Vavion= Viteza de deplasare a avionului.

7. Profile aerodinamice in cădere liberă - stiluri de cădere liberă

Viteza de cădere se poate mări sau micsora in funcție de poziția corpului. Astfel se cunosc patru stiluri de bază in parasutismul clasic: Stilul classic; Stilul grupat; Stilul săgeată; Stilul picătură.

7.1 Stilul clasic se obține astfel:
- parasutistul este orientat cu fața in jos;
- picioarele indoite de la genunchi;
- mainile desfăcute la inălțimea umerilor si indoite din cot;

Miscarea unui corp este stabilă dacă in timpul deplasării, corpul îsi menține poziția inițială. Pentru echilibrul stabil al unui corp suspendat, centrul de greutate al acestuia trebuie să fie situat sub punctul de sprijin. In cădere liberă parasutistul se sprijină pe masa de aer. De aceea miscarea lui nu va fi stabilă decat atunci cand centrul de presiune va fi situat deasupra centrului de greutate. Această condiție esențială este indeplinită numai atunci cand, parasutistul, are o poziție stabila de cădere, in care este asigurată scurgerea simetrică a aerului in jurul corpului. In funcție de configurația fizică a fiecărui parasutist, acesta îsi va alege stilul optim. Cand parasutistul ajunge ca pe toată durata căderii libere să-si mențină cu siguranță stilul de cădere, va putea trece apoi la adoptarea altor stiluri mai puțin stabile si cu viteze mai mari in vederea executării unor figuri acrobatice.

7.2 Stilul grupat :cu coloana incovoiată si bărbia in piept; genunchii trasi la piept usor desfăcuți (la nivelul umerilor); mainile langă corp, indoite din cot;
Din această poziție se execută gama de acrobație. Parasutistul ajunge la o viteză critică la aproximativ 12–15 secunde de cadere libera .

7.3 Stilul săgeată este folosit in vederea obținerii unei viteze mai mari de cădere sau pentru corectarea unor abateri, deviații in cadrul lansărilor de inălțimi mai mari (acrobație). Viteza de cădere a acestui stil poate ajunge pană 55 m/s, iar poziția este cu mainile si picioarele intinse si desfăcute in V.

7.4 Stilul picătură (in cap) folosit de parasutistii de performanță in vederea atingerii unei viteze maxime pentru lucrul in salturile de acrobație si LRCL. Viteza atinsă este de aproximativ 60 m/s.

BIBLIOGRAFIE

1. **Manualul Paraşutistului – ediția 2007;**
2. **Principii de zbor – Planorism - Dumitru Popovici;**
3. **Noțiuni de aerodinamică pentru profilele elastice.**
4. **Manualul Paraşutistului – ediția 2001.**